

ПОЧИТУВАЊЕТО НА СИГУРНОСНИТЕ РАСТОЈАНИЈА ВО ТЕКОТ НА ТРАНСПОРТОТ НА ЕКСПЛОЗИВНИТЕ МАТЕРИИ КАКО УСЛОВ ЗА МАКСИМАЛНА БЕЗБЕДНОСТ НА ПАТИШТАТА

Росе Смилески, Орце Поповски, Анка Трајковска
Воена академија „Генерал Михаило Апостолски“
Катедра за вооружување и муниција
1000 Скопје

АПСТРАКТ

Во штрудов се анализирани безбедносните растојанија неопходни при транспортот на експлозивните материји во сообраќајот. Со употреба на одредени математички изрази е определено растојанието меѓу моторните возила што превезуваат експлозивни материји. Тоа е определено од аспект на бризантноста дејство и на опасностите за пренесување на пламенот (пожарот) од едно на друго моторно возило во случај на експлозија или пожар на експлозивната материја. Исто така, определени се минималните растојанија од аспект на последиците на дејството на воздушниот ударен бран врз околината. Дадени се минималните растојанија за заштитата на саклатото на моторните возила, што е минималните растојанија при кои што учесниците во транспортот добиваат лесни повреди и друго.

ABSTRACT

In this paper the safety distance between two vehicles during transportation of explosive materials in public communication is analyzed.

The distance between two vehicles that transport explosive materials was calculated using mathematical equations. This distance was determined in dependence on brisance of explosive materials and dangerous of fire as results of possible explosion of the explosive materials. Also, from the point of view of the effect of air-shock wave on the environment, minimal distance is determined. In that context, minimal distances among vehicles from the aspect of vehicle window protection, as well as maximal traveler protection, are given.

1. ВОВЕД

Денес во употреба се среќаваат голем број експлозивни материји, кои се разликуваат по своите особини и по хемискиот состав. За полно распознавање, проучување и употреба, тие се групираат. Според областа на примена

се делат на воени и стопански експлозивни материји. Сепак, најчеста е поделбата според начинот на примена, и тоа на: иницијални, бризантни, потисни експлозивни материји (барути) и пиротехнички смеси.

Поради своите специфични карактеристики, иницијалните се употребуваат за иницирање на останатите експлозивни материји.

Бризантните експлозивни материји се разликуваат од претходните по многу поголемата стабилност и постојаност во однос на надворешните влијанија. Детонираат под дејство на силен надворешен импулс, најчесто со помош на иницијални експлозивни материји, но и во несреќни случаи, на пример, хексогенот може да детонира ако метална маса (тег) од 2 кг падне врз него од висина 0,30-0,32 м, или ако врз тринитротолуен падне тег од 10 кг од висина од 0,25 м, ќе предизвика експлозија во 4-8% случаи итн. Овие податоци се од посебно значење за правилниот транспорт на експлозивните материји.

Карактеристичен облик на експлозивното разложување за двете групи на експлозивни материји е детонацијата. Меѓутоа, кај бризантните, зголемувањето на брзината на реакцијата е многу помало отколку кај иницијалните.

Кај потисните експлозивни материји основен облик на хемиско разложување е согорувањето. Брзината на согорување е релативно мала, но сепак доволна за искористување на кинетичката енергија на гасните продукти.

Пиротехничките смеси се композити. Релативно малата брзина на согорување на реакцијата е проследена со ослободување на големо количество топлинска енергија.

Покрај ослободувањето на топлина, експлозивниот процес кај експлозивните материји е проследен и со ослободување на големо количество гасови (околу 0,7-1,0 м³/кг). Гасните продукти експандираат и вршат механичка работа - ја ставаат во движење околната средина (воздух, земја, вода и др.). Истовремено, со ширењето на гасните продукти се јавува и ударен бран, како последица на брзата трансформација на енергијата. Според тоа, енергијата од експлозијата се пренесува на определено растојание од центарот на експлозијата, во вид

на ударен бран. Обично на растојание 10-12 радиуси на експлозивни материји [1] од центарот на експлозијата, гасовите експандираат до ниво на атмосферски притисок. Значи, на помали растојанија основното дејство е продукт на самата експлозија, а на поголеми растојанија дејствата врз околината се предизвикани од ударниот бран. Според ова, се разликуваат два основни облика на дејство на експлозијата: бризантно (разорно) и рушечко (уривачко).

2. ДЕЈСТВОТО НА ЕКСПЛОЗИЈАТА/ДЕТОНАЦИЈАТА ВРЗ ОКОЛИНАТА

2.1. БРИЗАНТНО ДЕЈСТВО

Бризантното дејство се манифестира во непосредна близина на активираната експлозивна материја, во вид на кинење, дробење и пробивање на средината. На растојанија 2-4 пречници од експлозивното полнење, бризантното дејство престанува. Ова, всушност, е минималното растојание што треба да се почитува при транспортот на бризантните експлозивни материји, било тие да се употребуваат за потребите на стопанството или за воени цели. Вредноста на ова дејство тешко се определува, бидејќи зависи од голем број фактори, од видот на експлозивната материја, од механичките својства на садот во кој е сместена експлозивната материја (на пример кошулка на проектил), од видот на загрозената цел (објект) и др.

Теоретското разгледување и определување на бризантното дејство може да се врши според Вториот закон на механиката, каде што бризантното дејство е определено со количеството движење на честичките од непосредната близина на центарот на експлозијата/детонацијата. Ова количество на движење за коначен временски интервал t е еднакво на импулсот на притисокот:

$$I = \int_0^t F(t) \cdot dt \quad (1)$$

каде што се:

I - импулс на силата на притисокот [J],

$F(t)$ - промена на силата на притисокот со времето [N],

t - време на траење на детонацијата [s].

Од овде може да се одреди специфичниот импулс на притисокот на продуктите од експлозијата:

$$i = \int_0^t p(t) \cdot dt \quad [\text{Pa} \cdot \text{s}] \quad (2)$$

каде што е:

$p(t)$ - промена на притисокот во $F(t)$ [Pa].

Бидејќи бризантното дејство е ограничено на челниот дел на импулсот, кој, пак, е ограничен со паѓање на притисокот во краток вре-

менски интервал, од притисокот на детонацијата (P_d) до притисокот каде што практично и завршува бризантното дејство. Во прашање се тесни граници на интеграција, а од изразот (2) се гледа дека челниот дел на импулсот е пропорционален со притисокот на детонацијата (P_d). Затоа може да се усвои дека притисокот на детонацијата е вистинскиот критериум на бризантно дејство на детонацијата. Изразот за притисокот на детонацијата гласи [2]:

$$P_d = \rho \cdot \frac{D^2}{4} \quad (3)$$

каде што се:

ρ - густина на експлозивното полнење [кг/м³],

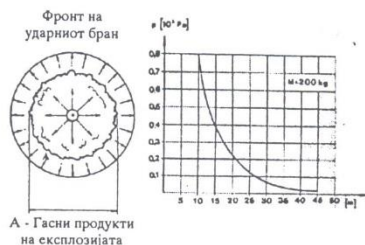
D - брзина на детонација на експлозивната материја [м/с].

2.2. РУШЕЧКО ДЕЈСТВО

Рушечкото дејство на експлозивните материји се манифестира на поголеми растојанија од центарот на експлозијата. Ова дејство повеќе зависи од ослободената енергија во текот на експлозијата, а во помала мера од брзината на детонација. Дејството се манифестира со потиснување и со отфрлување на околната средина.

Во случај кога станува збор за транспорт на експлозивните материји, од посебен интерес е да се разгледа ефектот на експлозијата во воздух. Како последица на експандијата на гасните продукти се нарушува рамнотежата на воздухот и тој се раздвижува. Во моментот на експлозијата, гасовите се движат со брзината на детонација на експлозивната материја и се наоѓаат под многу висок притисок. Во такви услови доаѓа до силна компресија на воздушниот слој што е во непосреден допир со гасовите, при што предизвикуваат ударни воздушни бранови. Гасните продукти само во почетокот го следат ударниот бран, а потоа значително заостануваат (Сл. 1) и на растојание од приближно 10 радиуси од експлозивни материји ја предаваат речиси целата енергија (90%) во облик на ударни бранови. Таа енергија изнесува 60-70% од вкупната енергија на експлозивната материја. Разликата до 100% се губи на нестационарните ширења на гасните продукти на експлозијата и на границата меѓу гасните продукти и ударниот бран.

Поради брзото ладење на продуктите на детонацијата, водената пареа се кондензира, па во центарот на експлозијата доаѓа до разрежување (потпритисок), што предизвикува струење на гасната маса кон центарот на експлозијата (детонацијата). Кинетичката енергија на ова интензивно турбулентно струење предизвикува рушење и оштетување на објектите во непосредна близина на местото на експлозијата.



Слика 1

Така, во литературата [3] може да се сретне податок дека ударен бран со притисок од 7 kPa ги крши прозорските стакла, од 20-30 kPa ги урива дрвените објекти, покривите, а делумно и послабите сидови. Натпритисок од 60 kPa ги урива бетонските сидови, од 100 kPa делумно предизвикува смртност, а при 300-400 kPa смртноста кај луѓето е 100%.

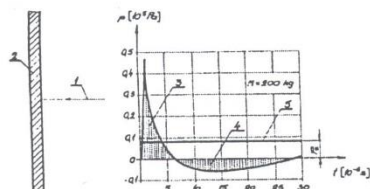
Како мерило на разорното дејство на воздушниот ударен бран се зема специфичниот импулс на натпритисокот во ударниот бран, кој се определува според изразот (2). Вредноста на натпритисокот, P_u во воздушниот бран може приближно да се одреди со изразот:

$$P_u = 120 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{r} \right)^{2.6} \quad (4)$$

каде што се:

Q - количество на експлозивна материја [kg],
 r - оддалеченост од центарот на експлозијата [m].

Честопати воздушниот бран на својот пат може да најде на различни пречки. Во тој случај доаѓа до рефлексија на бранот, при што ударот на натпритисокот се амортизира, па веднаш следува фаза на потпритисок која трае многу подолго. На Слика 2 е прикажана промената на притисокот на рефлектираниот бран со текот на времето, при налетот на ударниот бран под прав агол на еластична преграда, на растојание од 15 м и при експлозија на 200 kg експлозивна материја.



Слика 2

Освен ударниот бран, во анализата на опасностите од случајна експлозија, значајно е и дејството на фрагментите создадени во таа експлозија. Во зависност од нивното потекло [4] тие можат да бидат примарни и секундарни,

- Примарните фрагменти се последица од раскинувањето на обвивката (најчесто метална) во која обично се наоѓа бризантна експлозивна материја. Тие се со мали димензии, а почетната брзина им изнесува околу 1000 м/с. Загреани се на високи температури (неколку стотици степени) што им овозможува соодветно запаливо дејство.
- Секундарните фрагменти се формираат под влијание на високиот притисок на ударниот бран врз структурните компоненти и елементи што се наоѓаат во непосредна близина на местото на експлозијата. Овие фрагменти најчесто се со поголеми димензии од примарните, но со помала почетна брзина.

За човековиот организам се опасни оние фрагменти кои во моментот на ударот поседуваат енергија од 79 J, додека за материјалните средства и инсталации опасноста на фрагментите се определува во зависност од нивната отпорност и осетливост.

Покрај експлозијата и детонацијата, карактеристична реакција на претворба на потенцијалната енергија на експлозивната материја е и согорувањето. Согорувањето е појава типична за барутите. Реакцијата се одвива бурно и може да прерасне во експлозија, ако барутот се наоѓа во затворен (лимитиран) простор. Со цел да се определи опасноста од пожарот, како доминантна опасност во текот на транспортот на овие експлозивни материји и воопшто складирањето, можат да се сретнат следниве податоци: при согорување на поголемо количество барут (до 60 т барут во буриња) во магацин, се мерени температурите на височина од 1,5 м од тлото на различни растојанија од магацинот во кој согорувал барутот. Резултатите покажале дека температурата е:

- на 10 м од магацинот 850-900°C
- на 40 м од магацинот 150-190°C
- на 60 м од магацинот 25-50°C

Во овој случај зоната на безбедност за луѓето е надвор од 60 м од објектот во кој е предизвикан пожар на барутот. Меѓутоа, оваа зона на безбедност не ја опфаќа можноста од секундарни пожари предизвикани од разлетани фрагменти, запалени парчиња и муниција која може да експлодира на местото на падот.

Така, на пример, при случајно палење на 60 kg барут во непосредна близина на една зграда, факулот трае само десетина секунди. Притоа, без оглед на високата температура, времето е прекратко за да се запалат дрвените носачи врз кои бил поставен барутот, како и дрвјата што се наоѓале на околу 20 м од местото на пожарот. Според експерименталните истражувања, при палењето на барутот на тлото се формира факул со димензии 1,5Q [m] во дијаметар и висина од 5Q [m], ако масата на барутот Q се изрази во kg. Слични би биле после-

диците при евентуално палење на овие количини барут при транспорт во јавниот сообраќај, а особено ако превезувањето се врши со моторни возила.

3. ВЛИЈАНИЕ НА ВОЗДУШНИОТ УДАРЕН БРАН ВРЗ ЛУЃЕТО И МАТЕРИЈАЛНИТЕ ДОБРА

Во светот се спроведуваат голем број експерименти со цел да се определи влијанието на воздушниот ударен бран, создаден во процесот на експлозија на експлозивната материја, врз луѓето и материјалните добра.

Така, експерименталните податоци покажуваат дека дозволената изложеност на станбените згради на ударен воздушен бран изнесува 6,2-8,3 kPa.

Ако Q претставува количество на експлозивна материја во кг, тогаш на растојанија помали од $1,2Q^{1/3}$ [m] притисокот е поголем од 600 kPa, а ефектот е 100% смртност кај луѓето. На растојанијата од $1,2Q^{1/3}$ [m] до $3,6Q^{1/3}$ [m] притисокот е меѓу 600 и 100 kPa, а ефектот е смртност од 100% до 1%, што зависи од импулсот на притисокот. Така, на пример:

ефект	интензитет на притисокот [kPa]
1% смртност	- 413,7-482,6 (траење 3 ms) - 186,2 (траење 50 ms)
граница на оштетување на белите дробови	- 137,9-206,8 (траење 3 ms) - 68,9 (траење 50 ms)

На растојанија од $3,6Q^{1/3}$ до $7,2Q^{1/3}$ [m] притисокот се движи меѓу 82,7 и 24 kPa и се здобиваат потешки или само полесни повреди. Така, на пример: притисокот во воздушниот ударен бран од 82,7 kPa предизвикува прскање на ушното тапанче, во 50% случај притисок од 24 kPa предизвикува прскање на ушното тапанче во 1% случај, а притисок од 15,8 kPa кај човекот предизвикува само времено губење на слухот.

Така, на пример, за артиклите од групата на опасност 1.1. (супстанции и предмети кои имаат својство да детонираат) [5], очекуваните ефекти при експлозија се дадени во Табела 1.

Висок степен на заштита на човекот од смрт и сериозни повреди е на растојанија 16-20 $Q^{1/3}$ [m], со притисок од 8,3-6,2 kPa.

Ред. бр.	Растојание до објектите ($kQ^{1/3}$) [m]	Натпритисок на границата на растојанието [kPa]	Очекувани ефекти
1.	$2,4Q^{1/3}$	186,1	а) станбени објекти: ќе бидат целосно разурнати; б) луѓе: смртност 100% поради директното дејство на ударниот бран, удар на летечки елементи од згради, или поради отфрлање на тела и удари од тврди препреки (сидови, постројки); в) моторни возила: ќе бидат превртени и уништени, со ударниот бран.
2.	$3,6Q^{1/3}$	82,7	а) станбени објекти: големи конструктивни оштетувања, што се приближува до тотално уништување; б) луѓе: од директното дејство на воздушниот ударен бран, рушевини од згради или фрлања на тела на цврста препрека, може да се очекува смртност околу 1% и тешки повреди, прскање на ушното тапанче во 50% случаи; в) моторни возила: тешко ќе бидат оштетени, најверојатно до степен на целосно уништување.
3.	$4,4Q^{1/3}$	55,3	а) станбени објекти: големи оштетувања; б) луѓе: веројатно ќе бидат тешко повредени поради дејството на воздушниот ударен бран, фрагментите, запалените летечки елементи и фрлања на тела на препреки. Ризикот на прскање на ушното тапанче е 20%; в) моторни возила: ќе биде оштетена надградбата, мало оштетување на моторот, а стаклата ќе бидат искршени.
4.	$7,2Q^{1/3}$	24	а) станбени објекти: сериозни оштетувања, така што трошоците за поправка ќе изнесуваат повеќе од 50% од трошоците за изградба на нова зграда. Не се очекува директно ширење на експлозијата, но постои можност на задоцнета експлозија; б) луѓе: сериозни повреди од ударот на фрагментите и запалените летечки елементи. Можноста за прскање на ушното тапанче изнесува околу 1%; в) моторни возила: многу оштетени, но не така сериозно, при што оштетувањата главно се прскање на прозорските стакла итн.

5.	$9,6 Q^{1/3}$	15,8	а) станбени објекти: се очекуваат оштетувања приближно 20% од трошоците за комплетна замена; б) луѓе: може да се очекува привремено губење на слухот или пак да бидат повредени од секундарните влијанија на ударниот бран, како што се делови од згради и терцијални влијанија. За луѓето на отворен простор не се очекуваат сериозни повреди или смртност од дејството на ударниот бран. Може да дојде до одделни оштетувања од фрагментите; в) моторни возила: се очекуваат лесни оштетувања на моторните возила, но не е исклучена можноста на случаен погодок од евентуално фрагментно дејство или пак надпритисокот ударниот бран да предизвика моментален губиток на контролата на возачот.
6.	$12 Q^{1/3}$	11,7	а) станбени објекти: се очекуваат оштетувања што се околу 10% од трошоците за комплетно реновирање; б) луѓе: можни се оштетувања поради секундарните ефекти. Не се очекуваат сериозни повреди или смртност на отворен простор. Сепак можни се лесни повреди предизвикани од одделни фрагменти.
7.	$16 Q^{1/3} - 20 Q^{1/3}$	8,3-6,2	а) станбени објекти: се очекува дека ќе претрпат оштетувања што изнесуваат околу 5% од вкупните трошоци на реновирање; б) луѓе: степенот на заштита на луѓето во зградите е доста висок, а повредите што се очекуваат главно се предизвикани од кршење на стаклата и на делови од зградата. На отворен простор не се очекуваат сериозни повреди од дејството на ударниот бран. Но не се исклучени повредите од дејство на фрагменти и делови на зграда, што во голема мера зависи од конструкцијата на потенцијалното место на експлозија, од количеството на муницијата и од карактеристиките на нивните фрагменти.

Табела 1: Очекувани ефекти при експлозија на артиљеријата од групата 1.1.

4. ОПРЕДЕЛУВАЊЕ БЕЗБЕДНОСНИ Q-R РАСТОЈАНИЈА

Голем број од експериментите докажале дека, кога експлозивната материја ќе детонира на две или повеќе места во краток временски интервал, ударните бранови на експлозиите ќе се соединат [6]. На вистинскиот временски интервал меѓу низата детонации влијае просторното раздвојување на експлозивните материи, геометријата и распределбата, карактерот на преградниот ѕид или бариерата меѓу местата на експлозија и осетливоста на експлозивна материја. Исто така е докажано дека ударниот бран може да предизвика експлозија кај друга експлозивна материја ако таа се наоѓа на релативно мало растојание од местото на експлозија.

Имајќи ги предвид дозволеният степен на загроеност на луѓето и материјалните добра, соединувањето на ударните бранови и преносот на детонацијата од една на друга експлозивна материја, се појавила потреба од опреде-

лување безбедносни т.н. Q-R растојанија. Така, емпириски се дошло до изразот:

$$R = k \cdot Q^{1/3} \quad (5)$$

каде што се:

R - безбедносно растојание [m],

k - фактор што зависи од предвидениот или од дозволеният ризик [$m/kg^{1/3}$]. Вредностите на овој фактор се движат 2-30 $m/kg^{1/3}$.

Q - количество на експлозивна материја [kg].

Овој израз се применува во случаи кога постои соодветна бариера меѓу местото на експлозијата и загроениот објект, а кога таа бариера не постои тогаш се прикажува следниов израз:

$$R = \frac{3}{2} k \cdot Q^{1/3} \quad (6)$$

5. ЗАКЛУЧОК

Во трудов, од теоретска гледна точка и од гледна точка на многубројните светски истражувања, е даден осврт на дејството на експлозивните процеси врз средината, а преку тоа се

определени минималните и максималните натпритисоци на детонаторскиот и ударниот бран карактеристични за живите организми (пред сè за човекот), за објектите во природата, за транспортните средства итн.

Познавајќи ги вредностите за натпритисокот, според релацијата (6) може да се определи минималното растојание при кое што штитениот објект, моторно возило и сл. треба да биде оддалечен од потенцијалното експлозивно подрачје.

Ова е од посебно значење за транспортот на експлозивни материи, бидејќи во текот на превезувањето на експлозивни материи доаѓа на некоја т.н. „неприродна состојба“: возилата се изложени на трескања, нагли кочења и сл., па имајќи ги предвид опасностите од натпритисокот, од пожарното и од фрагментното дејство, лесно се определуваат минималните растојанија на моторните возила (како колона) во текот на транспортот, или пак на моторните возила што следат одделни моторни возила што превезуваат експлозивни материи. Потоа, може да се предвидат најповолните комуникации за транспорт на експлозивни материи, времето во кое би се транспортирале, максималното количество на експлозивна материја во едно моторно возило, растојанијата меѓу моторните возила, нивната брзина на движење итн.

Со примена на тие растојанија, транспортот ќе биде во голема мерка сигурен, а евентуалните случајни експлозии би поминале со помали последици врз другите учесници во сообраќајот, т.е. би се задржале само на она транспортно средство кај кое дошло до несакани настани.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. Stamatović, *Konstrukcije projektila*, Silba, Beograd 1995.
- [2] SSNO, *Osnovi konstrukcije artiljerijskog naoružanja*, VIZ, Beograd 1983.
- [3] S. Petrović, *Eksplzivne materije I, II, III, lekcije*, TVA, Zagreb 1979.
- [4] Y. Quinehou, R. Amiable, P. Fantoin, *La Sécurité et L'Hygiène du Travail dans L'Industrie de Substances Explosives*, Paris 1980.
- [5] P. Смилески, О. Поповски, „Транспорт на експлозивните материи во јавниот сообраќај“, зборник на трудови: *Сообраќај и комуникации на прагови на XXI век*, Охрид 1999.
- [6] *Propisi sigurnosnih rastojanja za eksplozive, municiju i hemijska ratna oružja*, Komitet za skladištenje i transport eksploziva, Ministarstvo odbrane vlade Indije (prevod), Nasik Road 1956.